

# STRUCTURE OF BRUSHLESS DC MOTOR

**Publication number:** JP2001359266 (A)

**Publication date:** 2001-12-26

**Inventor(s):** OKUMA SHIGERU; TAKAHASHI TOMOFUMI; KITABAYASHI MINORU

**Applicant(s):** AICHI EMERSON ELECTRIC

**Classification:**

**- International:** H02K1/22; H02K1/27; H02K21/14; H02K29/00; H02K1/22; H02K1/27; H02K21/14; H02K29/00; (IPC1-7): H02K29/00; H02K1/22; H02K1/27; H02K21/14

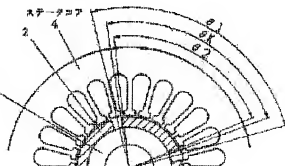
**- European:**

**Application number:** JP20000218075 20000613

**Priority number(s):** JP20000218075 20000613

## Abstract of JP 2001359266 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide the structure of a brushless DC motor which can reduce cogging torque. **SOLUTION:** This brushless Dc motor (hereinafter referred to as motor) is composed of a rotor, to which permanent magnets are attached and a stator with a plurality of slots. The effective pole opening angle of the rotor is set to a value, obtained by adding an angle corresponding to one slot opening to a value of integer times the slot pitch of the stator. The rotor is divided into a plurality of parts in the axial direction, and the respective divided rotor parts are arranged circumferentially, so as to be shifted from each other by mechanical angle amounts corresponding to half a period of respective cogging torques of the divided rotor parts. 5



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-359266

(P2001-359266A)

(43) 公開日 平成13年12月26日 (2001.12.26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	サーチコード (参考)
H 0 2 K	29/00	H 0 2 K	29/00
	1/22		Z 5 H 0 0 2
	1/27		A 5 H 0 1 9
	21/14		5 0 1 A 5 H 6 2 1
			M 5 H 6 2 2

審査請求 未請求 請求項の数 2 書面 (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-218075(P2000-218075)

(22) 出願日 平成12年6月13日 (2000.6.13)

(71) 出願人 000100872

アイチーエマソン電機株式会社

愛知県春日井市愛知町2番地

(72) 発明者 大熊 繁

愛知県名古屋市長区唐山町2-50 唐山

ユーハウス302

(72) 発明者 高橋 伴文

愛知県小牧市城山4-58-7

(72) 発明者 北林 英

愛知県名古屋市長区春日野2-3107

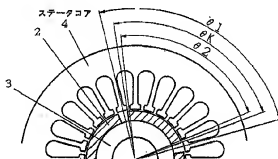
最終頁に続く

## (54) 【発明の名称】 ブラシレスDCモータの構造

## (57) 【要約】

【課題】 コギングトルクを低減させることが出来るブラシレスDCモータの構造を提供する。

【解決手段】 永久磁石が装着されたロータと複数のスロットを有するステータとで構成されるブラシレスDCモータ（以下、モータと略す。）において、該ロータの有効磁極開角がステータのスロットピッチの整数倍に1スロットオープンングに相当する角度を加えた値に設定され、上記ロータを軸方向に複数分割し、該分割されたロータが其々のコギングトルクに関して1/2周期に相当する機械角度分を軸周りにずらして構成するようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 永久磁石が装着されたロータと複数のスロットを有するステータとで構成されるブラシレスDCモータ（以下、モータと略す。）において、該ロータの有効磁極間角がステータのスロットピッチの整数倍に1スロット開口角に相当する角度を加えた値に設定され、上記ロータを軸方向に複数分割し、該分割されたロータが其々のコギングトルクに関して1/2周期に相当する機械角度分軸周りにずらして構成されることを特徴とするブラシレスDCモータ。

【請求項2】 前記ロータが軸方向に3分割されて、前記軸方向の3分割された中央部に位置するロータが、両端に位置するロータに比べ2倍の大きさのコギングトルク波形を有し、且つ、両端に位置するロータは同一のコギングトルクの位相と大きさであることを特長とする請求項1記載のブラシレスDCモータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はブラシレスDCモータに関するものであり、特に容易にコギングトルクを低減させる構造を提供するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 従来ブラシレスDCモータ（以下、モータと略す。）では巻線を施すスロットの存在の故に生じられるトルク変動、即ちコギングトルクが発生する。即ち、ロータとステータとの相対移動時にロータの磁極から発生する界磁束の磁路が、ステータのスロット開口部をロータの磁極が横切る度に周期的に変化して、ギャップでの磁束分布に変化が生じることによる。したがって、このコギングの周期及び大きさはステータコアに設けられたスロットの数とロータの磁極数に依存しており、回転角度に対する波形はステータのスロット開口部やロータの磁極の形状や寸法によって大きく変化する。

【0003】 従来、このコギング対策には様々な方法が提案されているが、一般的に行われているものとしてはロータとステータ間の磁気的な空間距離（ギャップ）をロータ磁極の両端において大きくさせ不均等となるように構成し、任意のステータティースへ傾斜する磁束の変化を滑らかにさせている。又、ロータの磁極を回転軸の方向に関してスキューを施すことでロータの磁極間角がステータティースを横切る際のステータへの磁束鎖交の変化を緩和させている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 不均等ギャップによるコギング対策では通常永久磁石の形状を加工で対応しており、その形状はステータのティース形状やスロット開口部の大きさに応じて変える必要があるが、永久磁石の形状の決定には多数の試作や多量の解析を行っているのが現状である。この様な対策によりモータのコギングトルクはかかる改善されるものの十分とはいえない。また、こ

の様な処置を施すことでコギングトルクを低減しようとすればするほどロータの極間部でのギャップを大幅に広げることがあり、ロータからステータへの鎖交磁束は低下することになる。

【0005】 また、別の方法として、ロータ磁極にスキューを施す場合ではスキューの角度を大きくすれば効果が期待できるが、これにより磁極の有効磁束がスキュー角度に比例して減少しモータ特性の悪化を起す。即ち、モータとしての電気的特性面から見れば、スキューの存在する部位の永久磁石はモータ性能としての有効な磁束として作用せず無駄な永久磁石を使用していると言える。

【0006】 更に、近年多くのモータが高磁束密度の希土類の永久磁石を使用してそのサイズを小型化しようとしており、コギングトルクそのものが大きくなり、この場合、従来のコギングトルク低減方法の構造では十分な対応がとれなくなっている。また、永久磁石の加工も小さい形状のものを精度良く加工しなくてはならなく難しくなっている。また、スキューを施すものにあっても、永久磁石の組み合わせで行おうとするとセグメントでの永久磁石自身にスキューを施さなくてはならなく全量産性のないものとなってしまう。

【0007】 図9にスキューが施された永久磁石2を組み合わせたロータの斜視図を示す。該図では、ロータコア3の表面に回転軸方向にスキュー角度θSを有する永久磁石2を4個、円周方向に並べ4極のロータを構成している。永久磁石に形状的にスキューを施さない方法としては、リング形状の永久磁石を使用することがあるが、前述のモータとしての電気特性面でスキューの部位にあたる無駄な領域が、存在するという問題が依然として残っている。

【0008】 また、この種のモータにおいては、ロータのコア内部に永久磁石を埋め込むものが提案されており電気的な特性の改善がなされているにも関わらず、根本的には、この様なモータ構造においては有効で簡便なコギングトルクを低減するための構成や、製造方法の提案は成されていない。

## 【0009】

【問題点を解決するための手段】 本発明は前記問題に鑑み成され、ロータの有効磁極間角をステータのスロットピッチの整数倍に1スロット開口角に相当する角度を加えた値に設定し、前記ロータを軸方向に複数分割し、該分割されたロータが其々のコギングトルクに関して1/2周期に相当する機械角度分を軸周りにずらして構成されることを特徴とするブラシレスDCモータの構造を提供するものである。

【0010】 また、前記ロータを軸方向に3分割し、軸方向中央部に位置するロータが両端に位置するロータに比べ2倍の大きさのコギングトルク波形を有し、且つ、両端に位置するロータは同一のコギングトルクの位相と

大ききとなるように組み上げられることを特徴とするブラシレスＤＣモータの構造を提供するものである。

# 【0011】

【発明の実施の形態】以下本発明を実施例に基づいて説明する。尚、ロータ構成上同じもの若しくは実施使用上同じ意味を持つものは、図１と同じ記号を付して説明を省略する。図１はステータのスロット数が２４の分布巻が施される４極モータを示す。但し、巻線については図を見易くするために省略する。２は永久磁石、３はロータコア、４はステータコアであり永久磁石２はロータコア３の表面に取り付けられている。該モータの構成ではステータ側の励磁に係わる磁極ピッチは２４スロット／４極で表され、６スロットピッチ毎となる。通常、一般的な巻線の方法では１スロットに１コイル分一括収納するのでステータの有効な励磁磁極角は、ロータに対向する様に６スロットピッチ内の５個分のティースに跨る角度となる。

【0012】同様に、図２は６スロットで１つのティースに巻線が集中的に施される所謂集中巻の例である。この場合のステータ側の励磁に係わる磁極ピッチは１スロットピッチ毎であり、ステータの有効な磁極角はロータに対向する１個分のティースの角度であることは明白である。

【0013】コギングトルクはステータの巻線と無関係に発生するで、無励磁での該ステータ内にて着磁された永久磁石が組まれたロータを任意の角度位置から左回転にて回転させた場合のコギングトルクを磁界解析で算出させた例を図３に示す。尚、該図では本発明がコギングトルクのロータとステータの相対位置関係を問題にしているのではなく、コギングトルク波形の形を問題にしているため波形を見易くするためにコギングトルクの発生が全て正方向の値を示すステータとロータの位置関係を基点としている。

【0014】今、ロータ側の有効磁極角角についてロータのいかなる回転位置においても少なくとも一端がステータティースの開角内にある場合、即ち、図１及び図２における $\theta_1$ のような有効磁極角角では、コギングトルク波形は図３内の $T\theta_1$ の如く立ち上がりが急峻で立下りがなだらかな形を描く。

【0015】逆に、ロータ側の有効磁極角角の回転位置が、ロータ磁極両端がスロット開口部の開角内にある状態が存在するような場合、即ち、図１及び図２における $\theta_2$ のような有効磁極角角では、コギングトルク波形は図３内の $T\theta_2$ の如く立ち上がりがなだらかで立下りが急峻な形を描く。

【0016】ここで、ロータ側の有効磁極角角をステータのスロットピッチの整数倍に１スロットの開口角度に相当する角度を加えた値に設定する。即ち、図１及び図２における $\theta_k$ に示す如くロータの有効磁極角角が対向するステータのティースの内側に跨る角度に合致するよ

う設定すると、コギングトルク波形は図３内の $T\theta_k$ の如く半周期の波形が左右対称で正負同一振幅の波形になる。本発明における $\theta_k$ はモータとしての昇磁束を確保するために幾何学上のステータ励磁磁極角角に最も近い角度が選択される。

【0017】図１及び図２では、永久磁石がロータの表面に取り付けられる構造の場合であるが、永久磁石をロータコアの内部に埋め込む場合を図４の（１）及び（２）に示す。図４の（１）の場合では、永久磁石とロータ表面が近いので有効磁極開角は永久磁石の開角にほぼ等しくなる。従って、永久磁石の開角を $\theta_k$ とすることで本発明の趣旨を満足することが出来る。図４の

（２）の場合では、永久磁石とロータ表面に磁性材のロータコアがロータの径方向に広い部位が存在するので該部位の開角が有効磁極開角となる。従って、該開角を $\theta_k$ とすることで本発明の趣旨が満足される。

【0018】有効磁極開角を有するロータをコギングトルクの振幅周期の半周期に相当する機械角度分を相対的に異なる様に組み合わせることでコギングトルクが相殺することができる。本発明の図１及び図２で説明された構造のもので構成されたロータを図５の斜視図で示す。また、図６は、図５のロータ構造でのコギングトルク相殺の様子を示す波形である。図５の $RC1$ 及び $RC2$ は、軸方向に分割し、図６に示した振幅周期 $\theta_e$ の半周期に相当する機械角度分を相対的に異なる状態となっている。また、本発明のロータ構造において軸方向に２分割されたロータは全く同一のロータ構造を有している。尚、図４の（１）及び（２）で説明したロータ構造のものも図１及び図２と同様の方法によるためここでは説明を省略する。

【0019】其々の分割ロータ $RC1$ と $RC2$ のコギングトルクは、図６に $TC1$ と $TC2$ とで表され、図５において分割ロータが互いに $\theta_m$ なる角度で組み合わせられている。該 $\theta_m$ が、図６に示されるコギングトルクの半周期である $\theta_e$ に相当する機械角とすることにより合成されたコギングトルクは、図６中に示される $TC0$ の如く理論的に零となり、個々の分割ロータのコギングは互いに相殺される。

【0020】また、軸方向に分割されたロータの有効磁極開角が図１の $\theta_1$ や図２の $\theta_2$ である場合は、コギングトルクの正負の変化が点対称であるためコギングトルクの半周期に相当する機械角度分を相対的に異なる状態でも組み合わせてもコギングトルクを相殺することは出来ないが、図１の $\theta_1$ や図２の $\theta_2$ なる有効磁極開角を有し図３に示される様な $T\theta_1$ と $T\theta_2$ の波形の如く互いに相手のコギングトルク波形を逆方向にたどるような波形と大きさを示すロータを選択することにより、其々のロータをコギングトルクの半周期に相当する機械角度分を相対的に異なる状態でも組み合わせてもコギングトルクを相殺することは可能である。

【0021】従って、ロータの有効磁極間角に $2\theta k$ を選択すれば同一構造のロータを組み合わせただけで図6中に示したTC0の如く理論的にコギングトルクが零になる。尚、図5には、軸方向に2分割されたロータ構造を示したが、本発明を逸脱しない範囲において軸方向の各構成要素を複数に分割することにより、より良い効果を得ることができる。

【0022】しかしながら、モータ仕様によっては、図5で示した最も単純な分割ロータの組み合わせでは其々の分割ロータのコギングトルクが大きい場合において、互いの分割ロータのコギングトルクが逆位相であるためロータコアを介してシャフトにおじりの力を与えることになる。この力は分割ロータの位置が物理的に離れているのでシャフトに対して作用点が異なり、この結果シャフトに対して曲げモーメントが発生して複雑な振動モードを与えることになる。該振動はモータの回転数に対して高次のコギング周波数と同期した音となってモータから発生する。

【0023】この問題に鑑みて、本発明ではロータを軸方向に3分割し、3分割されたロータに関して中央に配される分割ロータがその両側に配される分割ロータの2倍のコギングトルクとなるよう設定し、尚且つ、両側に配される分割ロータはコギングトルクに対して全く同一の大きさ及位相の関係を持たせる。この構成を図7の斜視図に示す。中央の分割ロータRC4を挟むように両側に分割ロータRC3とRC5が配される。該分割ロータRC3とRC5はロータの回転に対してコギングトルクが全く同一となるよう配され、中央の分割ロータRC4は分割ロータRC3若しくはRC5に対してコギング周波数の半周期分に相当する機械角だけ異なる位置に配される。

【0024】従って、其々の分割ロータのコギングトルクは図8に示される波形となる。TC3は分割ロータRC3のコギングトルク波形、TC5は分割ロータRC5のコギングトルク波形、これら2つのコギングトルク波形を合成したものがTC3+TC5、TC4は中央の分割ロータRC4のコギングトルク波形である。分割ロータRC4は両端の分割ロータのコギングトルクに対して2倍の大きさを有するよう設定されていて、コギングトルクの周期の半周期に相当する機械角度だけ異なる位置で組まれているため総合の合成されたコギングトルクは図5及び図6で説明した様に互いに相殺され、結果として、図8のTC0の波形となる。即ち、図5のTC0と同じ等となる。更に、コギングトルクによるシャフトに対するねじり力は存在するがシャフトに作用する曲げモーメントは相殺されて生ずることがない。尚、図7には、軸方向に3分割されたロータ構造を示したが、本発明を逸脱しない範囲においてRC3、RC4、RC5の各々の分割ロータの構成要素を、更に複数に分割することにより、より良い効果を得ることができる。

#### 【0025】

【発明の効果】該当モータにおいて、請求項1ではロータの有効磁極間角をステータスロットピッチの整数倍に1スロット開口角度を加えた値にすることで、コギングトルクの波形は正負同一となり、且つ、コギングトルクの半周期に関して左右対称となるので、該コギングトルクを有する分割ロータを、その周期の半周期に相当する機械角度分だけ異なる状態で組み合わせることで可及的に、互いのコギングトルクを相殺させることができる。更に、前記説明の中に本発明に必要な永久磁石の形状についてなんら触れなかったように、特別な形状を要求するものではない。従って、本発明の主旨に沿ってロータの有効磁極間角を満足させるだけでコギングトルクが激減するものである。

【0026】また、本発明の条件さえ満足すればロータの有効磁極間角は任意に選択することが可能であるが、ロータの有効磁極間角をステータの幾何学的な励磁磁極角度に最も近い角度を選択することでロータからの磁束はモータとして必要な磁束をほぼ確保することができ、従来の様に永久磁石にスキューを施す必要がないのでモータ特性を犠牲にすることがない。また、1回転中のコギングトルクの振幅数はステータのスロット数以上となるので本発明のロータの構成での分割ロータの組み合わせに際し機械的ずらし角度量は大きくても1/2スロットである。従って、例えこの機械角度で組み上げられたとしてもロータの有効磁極間角は物理的に可能な最大磁極間角を超えることはない。よって、分割されたロータの其々の磁極を構成する永久磁石の磁束は互いに打ち消しあう事は無く、余すことなく有効に利用されるモータとすることができる。

【0027】本発明のロータ構造における永久磁石の配置に関しては、ロータコアの表面に取り付けられたものや、内部に埋め込まれたものでも適用が可能で、また、ステータ構造に関しては、分布巻や集中巻においても適用可能であり、どのようなモータにも使用することができる。

【0028】請求項2においては、コギングトルクの相殺に際し回転軸に作用する其々の分割ロータのコギングトルクによる曲げモーメントに関し、軸方向に3分割することで合成のモーメントを相殺させることができコギングトルクによるモータの振動やこれに起因する騒音を防止することが可能である。

【0029】特に、例えば冷凍空調機に使用されるコンプレッサに組み込まれ使用される時等にありがちなモータの磁石が片持ちで回転する場合等では、前記の曲げモーメントの影響を受け易いのでその効果が大きい。

【0030】本発明は、其々の分割ロータのコギングトルクが永久磁石の形状の大きさ、磁束量の多さ、種類及び慣例的に使用されるモータとしてのギャップ広さによってその振幅の大きさが変わっても何ら影響を受けるこ

となく実現可能であるので、モータの適用される機器や用途に応じて高いパフォーマンスを要求されても適用が可能である。従って、特に高精度な位置決めや高出力密度を要求するサーボモータをはじめ低振動、低騒音が求められるモータに有効である。

【0031】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示す分布巻モータの横断面図。

【図2】本発明の一実施例を示す集中巻モータの横断面図。

【図3】図1及び図2におけるコギングトルクの様相を示す図。

【図4】本発明の別の実施例を示すロータの横断面図。

【図5】本発明の実施例を示すロータ構造の斜視図。

【図6】図5におけるロータのコギングトルクの相殺を示す図。

【図7】本発明の実施例を示すロータ構造の斜視図。

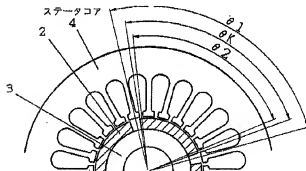
【図8】図7のコギングトルク相殺の様相を示す図。

【図9】従来例を示すロータの横断面図。

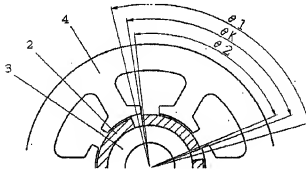
【符号の説明】

$\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_k$ ,  $\theta_m$ …機械角度、 $\theta_e$ …電気角度、  
2…磁石、3…ロータコア、4…ステータコア、RC1  
至るRC5…分割ロータ、TC0至るTC5…コギング  
トルク波、 $\theta_s$ …スキュー角度。

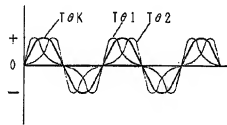
【図1】



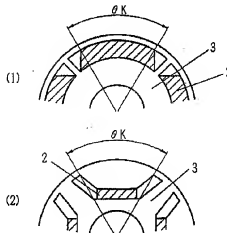
【図2】



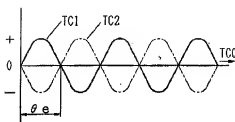
【図3】



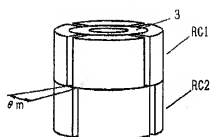
【図4】



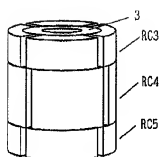
【図6】



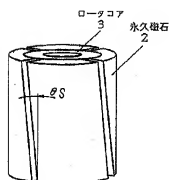
【図5】



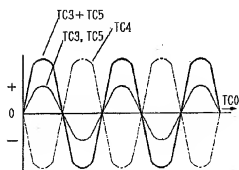
【図7】



【図9】



【図8】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H002 AA08 AB07  
 5H019 AA03 CC03 DD02 EE14  
 5H621 AA02 GA01 GA04 GA15 GA16  
 JK02  
 5H622 AA02 CA02 CA07 CB04